

NÆRINGSSTOFTAB EFTER OMLÆGNING FRA OMDRIFT TIL DYRKNING AF FLERÅRIGE ENERGIAFGRØDER

STATUS PÅ VIDEN OM PRODUKTION PÅ HØJ- OG LAVBUNDSJORD

INTERN RAPPORT · MARKBRUG NR. 31 · JANUAR 2011



DET JORDBRUGSVIDENSKABELIGE FAKULTET

AARHUS UNIVERSITET



NÆRINGSSTOFTAB EFTER OMLÆGNING FRA OMDRIFT TIL DYRKNING AF FLERÅRIGE ENERGIAFGRØDER

STATUS PÅ VIDEN OM PRODUKTION PÅ HØJ- OG LAVBUNDSJORD

Uffe Jørgensen og Kirsten Schelde

Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø

Aarhus Universitet

Postboks 50

8830 Tjele

enercoast

The Interreg IVB
North Sea Region
Programme



Interne rapporter indeholder hovedsagelig forskningsresultater og forsøgsopgørelser som primært henvender sig til DJF medarbejdere og samarbejdspartnere. Rapporterne kan ligeledes fungere som bilag til temamøder. Rapporterne kan også beskrive interne forhold og retningslinier for DJF.

Publikationer fra Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet kan downloades på www.agrsci.au.dk

Tryk: www.digisource.dk

ISBN: 978-87-91949-71-5

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	3
Baggrund	5
Flerårige energiafgrøder – typer og egenskaber	5
Lavbundsområder – typer og egenskaber	6
Struktur og vandindhold	7
Fosfordynamik på lavbundsjord	7
Energiafgrøder på lavbundslande	8
Forventet effekt af omlægning til produktion af energiafgrøder	8
Opsummering af forventede effekter på lavbund	9
Litteratur og undersøgelser til belysning af spørgsmålet	10
Udvaskning af nitrat ved dyrkning af flerårige afgrøder på højbund	12
Fosfortab ved dyrkning af flerårige energiafgrøder på højbund	13
Overslagsberegninger og scenarier for effekter af omlægning	15
Perspektivering	18
Referencer	19
Appendiks: Forslag til projekter	22
1: Effekter af pileproduktion i Kolindsund på tab af næringsstoffer	22
2: Pilotforsøg med dyrkning og anvendelse af energiafgrøder i Termestrup Enge	22
3: Dyrkning af elefantgræs på højbund på Djursland eller i oplandet til Randers Fjord	23

Sammendrag

Hvad sker der med hensyn til tab af næringsstoffer til vandmiljøet, hvis vi ændrer arealanvendelsen fra at dyrke enårige afgrøder til at etablere og drive produktion af flerårige energiafgrøder? Det er emnet for denne rapport, der er udarbejdet i forbindelse med Interreg projektet Enercoast. Rapporten opsummerer viden om næringsstofftab forbundet med dyrkning af flerårige energiafgrøder på såvel lavbunds- som højbundsjord. For højbundsjord, især sandjorde, er effekterne allerede veldokumenterede, men for lavbundsområder foreligger der endnu ikke megen viden om konsekvenserne ved omlægning til produktion af energiafgrøder.

På højbundsjord kan en forbedret næringsstofbalance opnås ved produktion af energiafgrøder på arealer, der tidligere var i almindelig omdrift. Etablering af energiafgrøder vil gennemsnitligt reducere udvaskningen med 15-35 kg N pr. ha på lerjord og 40-60 på sandjord. Med hensyn til fosfor findes der ikke eksperimentel viden, men det antages at omlægning af enårige sædskifter til flerårige energiafgrøder vil reducere risikoen for P-erosion på erosionstruede arealer, ligesom omlægning til vedvarende græs gør det.

På lavbundsjord betyder de meget varierende jordtyper og strømningsveje samt de sparsomme undersøgelser af næringsstof balancer for én- og flerårige dyrkningssystemer, at det er vanskeligt at kvantificere effekten af en omlægning til energiafgrøder. Materialet fundet i artikler og rapporter peger på, at der overvejende vil være en gunstig effekt ved overgang til flerårige afgrøder, men det er ikke muligt at sætte tal på en eventuel reduktion i udvaskningen af næringsstoffer til vandmiljøet. På visse lavbundslande findes meget høje indhold af fosfor, og der kan være stor risiko for mobilisering heraf ved vådlægning af tidligere agerjord. På sådanne arealer kan dyrkning af energiafgrøder, med udeladelse af P-gødsning, være en af de eneste mulige metoder for at få fjernet de store mængder ophobet fosfor, så tabet til miljøet reduceres.

Der er et stort behov for mere viden om næringsstofbalancer for forskellige dyrkningssystemer på lavbundsjord. Hvis det er muligt, bør der igangsættes pilotprojekter, f.eks. i Kolindsund området, hvor der allerede findes etablerede pilebestande. Parallelle målinger af udvaskning af N og P fra pil og f.eks. korn- og græsafgrøder i samme område vil være meget værdifulde til at belyse forskellene på næringsstofftab fra (gytje-) lavbundsorden i Kolindsund.

Et andet interessant pilotområde på Djursland kan være Termestrup Enge, hvor der er planer om et stort vådområdeprojekt. Det vurderes, at op til 320 ha af projektarealet potentielt kan dyrkes med fugtighedstolerante energiafgrøder. Beregninger af dyrkning med henholdsvis røgræs og pil viser en potentiel årlig fjernelse af op til 38 t N og 8 t P samt et energiindhold i den producerede biomasse på op til 48 TJ. Det er væsentlige størrelser, som kan sammenlignes med projektets forventede kvælstoffjernelse fra vandmiljøet uden dyrkning af energiafgrøder på 51 t N årligt, og som svarer til 15-20% af den forventede energiproduktion fra et biogasanlæg ved Andi. Potentialerne kræver dog nærmere afprøvning i pilot-skala før det kan vurderes, i hvor stort omfang de kan indfries.

Det vil også være muligt at påvirke nitratudvaskningen fra landbrugsarealet ved at tilskynde til en generel omlægning af sædskiftearealer domineret af kornafgrøder til flerårige energiafgrøder. For de tre kommuner på Djursland vil en omlægning af 15% af det samlede kornareal reducere udvaskningen af kvælstof fra afgrødernes rodzone med ca. 570 t N årligt. For hele Danmark er beregnet en reduktion i udvaskningen på ca. 11.000 t N årligt ved en tilsvarende omlægning.

Øget dyrkning af biomasse til energi er en målsætning i Regeringens plan for Grøn Vækst. Der er afsat etableringstilskud til flerårige energiafgrøder, som i alt kan bidrage til plantning af ca. 30.000 ha. Der forventes dog ikke en særlig stor særskilt effekt af denne ordning på nitratudvaskningen, da en del af omlægningen må forventes at ske fra græsarealer, og en anden del forventes at erstatte lovpligtige efterafgrøder.

Samlet set kan dyrkning af flerårige energiafgrøder være et væsentligt instrument til at bidrage til opfyldelsen af Vandrammedirektivet og EUs klima- og energistrategi. Og det vil være et instrument, som ikke begrænser mulighederne for en fortsat landbrugsdrift. Der er dog mange uafklarede forhold, som skal undersøges, før energiafgrøder kan implementeres i stort omfang med en sikker miljøeffekt og en god dyrkningsøkonomi. Specielt er der stor usikkerhed om miljøeffekterne på lavbundsjord, som ellers er arealer det kan være meget relevant at omlægge. Forslag til nærmere undersøgelser heraf i de tre Enercoast-kommuner er skitseret.

Baggrund

Projektet Enercoast – biomasse på kommuneniveau – har som central opgave at analysere bæredygtigheden af udvalgte forsyningskæder for bioenergi, herunder miljøkonsekvenser af øget produktion af energiafgrøder. I denne forbindelse blev DJF bedt om at redegøre for, hvad dyrkning af flerårige energiafgrøder betyder for udvaskning af kvælstof og fosfor til vandmiljøet. Rapporten opsummerer derfor viden om tab af næringsstoffer – og ændringer i næringsstofftab – hvis der produceres energiafgrøder på arealer som tidligere var i almindelig omdrift. Konsekvensen af omlægningen er undersøgt specielt for lavbundsjord, hvor behovet for at kortlægge viden er særligt stort. Rapporten redegør også for konsekvenserne på højbund, hvor næringsstofbalancen for forskellige dyrkningssystemer er bedre undersøgt end på lavbund.

Rapporten behandler således hovedsageligt tab af N og P via udvaskning eller dræntransport til vandmiljøet. Den berører kun i mindre omfang problemstillingen omkring lavbundsjord og drivhusgasbalancer. Dræning og opdyrkning af organiske jorde har betydning – og medfører fortsat – at dyrkede og tidligere dyrkede organiske jorde er en betydelig kilde til udledning af drivhusgasser (Maljanen et al. 2010).

Rapporten er udarbejdet med økonomisk støtte fra Interreg-programmet for Nordsøregionen.

Flerårige energiafgrøder – typer og egenskaber

Flerårige energiafgrøder er kraftige afgrøder med et højt tørstofudbytte. Der kan dyrkes flere typer: Hurtigtvoksende træarter der dyrkes med rotationscyklus på 2-10 år (pil, poppel og el), eller græsser der enten kan være almindeligt slætgræs eller store kraftigtvoksende græsser (Elefantgræs (miscanthus), rørgræs eller switchgrass), hvor man kan nøjes med én årlig høst.

Flerårige energiafgrøder har et permanent rodnet. De har dybe rødder, hvis jordbunden (uden rodstandsede lag og fordelagtig jordbundskemi) og grundvandstand tillader det. Energiafgrøder har en forholdsvis lang vækstsæson, uden perioder med bar jord. Bladarealet er højt tidligt i vækstsæsonen, hvilket medfører et stort vandforbrug og et stort interceptionstab (fordampning af regnvand som lander på bladfladen) (Persson 1989, Persson og Lindroth 1994). Den lange vækstsæson, rodnettet og bladfladen sikrer afgrøden et effektivt optag af mineraliserede – og tilførte - næringsstoffer hen over året. Efter at afgrøden er etableret, er der ikke behov for yderligere jordbearbejdning, og derved reduceres mineraliserings'pulse' som kickstartes af jordbearbejdning. Energiafgrøder kan opnå gode udbytter med lav - medium gødningstildeling, dels fordi døde blade og andet materiale, som ikke fjernes ved høst, bidrager til næringsstofforsyningen, dels fordi der oftest høstes biomasse med et lavt kvælstofindhold (fx træ).

Pil og rørgræs har godt vækstbetingelser, hvor vandforsyningen er god. Afgrøderne tåler fint oversvømmelse udenfor vækstperioden og overlever oversvømmelse i vækstperioden. Elefantgræs ynder varme vækstforhold og tåler ikke frost i det tidlige forår efter at væksten er gået i gang. Elefantgræs tåler ikke oversvømmelse i vækstsæsonen.

Rørgræs kan høstes grøn i løbet af sommer og/eller efterår med ét til flere slæt og udnyttes til biogas. Pil høstes normalt om vinteren med 2-3 års mellemrum og kan udnyttes i flisfyrede varme-

eller kraftvarmeværker. Landskabsmæssigt er der stor forskel på afgrøderne, idet rørgræs maksimalt bliver 1,5 m høj, mens pil kan blive 5-7 m høje.



Figur 1. Elefantgræs (øverst), pil (nederst tv. og bag maskinen th.) og rørgræs (nederst th.) er flerårige energiafgrøder med stort produktionspotentiale.

Lavbundsområder – typer og egenskaber

Lavbundsområder er fællesbetegnelsen for en række forskellige lavtliggende områder, tidligere enge, kær og moser, afvandede søer og tørlagte kyststrækninger (marsk) samt tidligere fjordarme, som nu i vidt omfang er opdyrket landbrugsmæssigt. En stor del af disse lavbundsarealer er i dag dræned og indgår ofte i normal omdrift. Fælles for dem er, at de typisk har et højt indhold af organisk stof i de øvre jordlag ('organogene' jorde) og en naturligt høj grundvandstand, som modvirkes ved afdræning eller evt. bortpumpning af overskydende vand.

Det organiske stof findes på flere former afhængigt af oprindelsen. I moser og enge findes tørv, som har et højt indhold af organisk stof, og i afvandede søer og fjordarme findes typisk lag af henholdsvis ferskvandsgytje og saltvandsgytje. Gytje består af omsat organisk materiale og uorganisk materiale (ler/silt/finsand/kalkskaller). Gytje har et mindre vandindhold og indhold af organisk stof, end det er almindeligt for tørv (Berglund og Berglund 2010). Blandingen af finkornet

organisk materiale og uorganiske partikler gør, at gytjen ofte har en gæragtig konsistens. På mange vandløbsnære arealer er jordbunden heterogen med flere tynde lag af sand, silt, ler og gytje eller selvstændige tørvelag. Udgangsmaterialet i lagene afspejler de vegetationssamfund og plantearter, som herskede på dannelsesstidspunktet.

Struktur og vandindhold

Omsætningsgraden og strukturen i det organiske materiale kan variere meget. Det er bestemmende for densiteten og den hydrauliske ledningsevne i de organiske lag. Sammensætningen af jordmatricen er afgørende for transport af vand og næringsstoffer ned gennem profilet. I tørvejord er den hydrauliske ledningsevne og massefylden relateret til tørvens omsætningsgrad. Et stort indhold af fibre større end 0.1 mm giver en høj hydraulisk ledningsevne og en lille massefylde. Omvendt har kompakt tørv, gytje og ler en lav hydraulisk ledningsevne.

De varierende omsætningsgrader og hydrauliske ledningsevner i de organiske jordlag betyder, at lagene ofte leder vandet meget uensartet. Opsprækninger og indslag af tynde ledende jordlag og jordlinser medfører, at strømmingen ofte er præferentiel og begrænset til hovedsagelig at foregå via sprækker, mens resten af (den våde) jordmatrice stort set ikke leder vand videre. Alt i alt er vandets strømningsveje gennem de organiske lag ofte meget komplicerede.

Dræningsforholdene er forskellige. I afvandede søer og fjordarme holdes grundvandstanden ofte i ave med afvandingsgrøfter og bortpumpning af vand. Vandløbsnære områder, gamle enge og moser er typisk drænet med drænrør. Dræningen medvirker til at sænke grundvandstanden i dyrkningssæsonen i sommerhalvåret, hvorimod grundvandet står højere om vinteren, hvor områderne kan være mere eller mindre oversvømmede. Alt i alt medvirker det til meget varierende fugtighedsforhold i de organiske jordbundsprofiler, hvilket har stor betydning for nedbrydningshastigheden af det organiske stof og næringsstofomsætningen i jorden. Mineralisering af det organiske stof går hurtigst når vandindholdet er lavt og iltindholdet højt. Tilsvarende er denitrifikation af nitrat til frit kvælstof (med risiko for dannelse af lattergas (N_2O)) den fremherskende proces når jorden er vandmættet og dermed iltfattig.

Fosfordynamik på lavbundsjord

Geokemien i danske lavbundsarealer varierer meget mellem lavbundstyper og geologiske regioner, og fosfordynamikken afhænger derfor af lokaliteten (Kjærgaard 2007). Jordens fosforbindingskapacitet er primært bestemt af indholdet af jern og aluminium, og nye danske undersøgelser har vist at lavbundsJORDE ofte har væsentligt højere jernindhold, og dermed højere fosforbindingskapacitet, sammenlignet med højbundsJORDE. Variationen er dog betydelig, og nogle lavbunds-lokaliteter har meget lav fosforbindingskapacitet. Undersøgelserne viser samtidig meget varierende indhold af fosfor, hvor der i nogle lavbundsJORDE er ophobet betydelige mængder P (Kjærgaard 2007).

Fosfor tilføres lavbundsJORDEN med gødsning, og for tørvejordes vedkommende også ved mineralisering af tørv. Beregninger af P-mineralisering ved omsætning af tørv viser potentielle P-frigivelser fra 0,5 til >50 kg P/ha/år (Charlotte Kjærgaard, AU, personlig meddelelse). Risikoen for udvaskning af fosfor fra lavbundsarealer er bestemt af jordens jern:fosfor-forhold, hvor udvaskningsrisikoen er lav ved et højt jern:fosfor-forhold (Kjærgaard 2007). Så længe der er

tilstrækkelig bindingskapacitet (højt jern:fosfor forhold), vil udvaskningsrisikoen ikke umiddelbart påvirkes af gødskningsniveau eller mineralisering af tørven. Et overskud i tilførslen af fosfor bidrager dog til en fortsat ophobning af fosfor, der over tid øger jordens fosformætningsgrad og dermed risikoen for P-tab. På arealer med meget ringe fosforbindingskapacitet vil gødskning og mineralisering af tørvepuljen umiddelbart bidrage til risikoen for udvaskning af fosfor. Afgrødernes optag og indbygning af P, som derefter høstes, er afgørende for P-balancen for lavbundsområdet. Hvis arealet 'undergødskes' med P i forhold til afgrødens behov, vil afgrøden tære på jordens fosforpuljer så P-udvaskningsrisikoen med tiden reduceres. Hvis der omvendt overgødskes (f.eks. med husdyrgødning), stiger risikoen for u hensigtsmæssigt tab af P ved udvaskning, når jorden når et kritisk mætningspunkt.

Energiafgrøder på lavbundsJORDE

Forventet effekt af omlægning til produktion af energiafgrøder

Hvad sker der, når vi ændrer arealanvendelsen fra at dyrke enårige afgrøder på lavbundsJORDE til at etablere og drive produktion af flerårige energiafgrøder? - Flere ting taler i princippet for at vi får en bedre næringsstofudnyttelse og dermed en reduktion i tab af næringsstoffer: Den minimale jordbearbejdning (når energiafgrøden er etableret) medvirker til at mineralisering af det organiske stof i pløjelaget reduceres. Dybe rødder og den lange vækstsæson medvirker til en god udnyttelse og begrænset tab af næringsstoffer. Man kan regne med at der er en stor intern N-cirkulation i f.eks. pilebestande: Ledin (1998) estimerede at stort set den samme mængde N som hvert år optages i nye pileblade, frigives ved mineralisering af gamle blade ved jordoverfladen. Efter 3 års henfald er 90 % af en sæsons nedfaldne pileblade mineraliseret.

Omvendt er det usikkert, hvordan det øgede vandforbrug påvirker fugtighedsforholdene og dermed mineraliseringsrater/denitrifikationsrater i jorden. Måske er der risiko for en øget kvælstoffrigivelse i form af nitrat fordi denitrifikation mindskes i tør jord. Denne nitrat kan udvaskes, hvis det sker på tidspunkter af året, hvor energiafgrøden ikke kan udnytte den. En enkelt observation under pil på lavbundsJORDE i Nørreådalen i sent efterår, hvor jorden var tør, har således vist høje nitratindhold (Siri Pugesgaard, AU, personlig meddelelse).



Figur 2. Aarhus Universitet udfører dyrkningsforsøg med pil og rørgræs i Nørreådalen øst for Viborg.

Endelig er det stedspecifikt, hvordan fosfordynamikken påvirkes af den flerårige afgrøde. Hvis energiafgrøden gødes mindre intensivt med P end den afgrøde, som den erstatter, kan det på sigt have en gunstig effekt på udvaskningsrisikoen afhængigt af jordens fosforbindingskapacitet og fosformætningsgrad. Energiafgrøden bør ikke gødskes med mere P end afgrøden kan optage og fjerne, hvilket der dog ikke er regler om i de nuværende gødningsnormer. Det kan derfor være problematisk at fuldgøde med svinegylle. Omvendt er P-behovet næppe særligt stort i f.eks. pil, idet der er ikke behov for P til tidlig rodvækst i foråret, således at det vil være muligt at dyrke pil uden P-overskud eller med P-underskud, hvorved der kan opnås en reduktion i tabet af opløst fosfor.

Tilbageholdelsen af fosfor er størst i iltrige jordlag, så hvis afgrøden nedsætter jordens vandindhold i en større del af året, kan en bedre P-tilbageholdelse forventes. På våde lavbundslande (fx nydannede vådområder), hvor der er anaerobe forhold, kan der være risiko for frigivelse af den fosfor, som under aerobe forhold er kompleksbundet til jern. Hvor stor risikoen er, afhænger igen af forholdet mellem jordens jern- og fosforindhold og laboratorieundersøgelser viser potentielle frigivelsesrater mellem <1 og 25 kg/ha P-frigivelse årligt (Kjærgaard 2007). For jorde med lavt jern:fosfor-forhold og en betydelig fosforpulje (flere tusinde kg P/ha) kan frigivelsen fortsætte igennem mange år. Risikoen for fosfortab vil dog være bestemt af hydrologien igennem vådområdet. På sådanne arealer kan høst af biomasse hvor der årligt fjernes 10-15 kg P bidrage til at udtømme jordens fosforpulje og dermed på længere sigt reducere fosfortab til vandmiljøet.

En eventuel erosionsrisiko (tab af næringsstoffer ved overfladisk afstrømning til vandløb via f.eks. riller og forsænkninger) som var tilstede i det étårige dyrkningssystem, reduceres ved at etablere energiafgrøders permanente stub/plantedække. Til gengæld udgør det pløjefrie flerårige dyrkningssystem en risiko for opbygning af stabile dybe makroporer (regnormegange, gamle rodgange), især i strukturerede jorde som ler og gytje. Makroporerne fungerer som effektive direkte transportveje af vand og partikler ned gennem profilet, når dette er tæt på at være vandmættet. Fosfor kan være adsorberet til de små jordpartikler (kolloider) og dermed transporteres udenom jordmatricen direkte mod grundvand/drænrør.

Opsummering af forventede effekter på lavbund

Alt i alt er der for næringsstoffernes vedkommende flere modsatrettede tendenser, som skal tages i regning i det kombinerede system af energiafgrøder og lavbundslande. Observationer fra praksis må vise hvordan systemet virker med hensyn til tilbageholdelse af næringsstoffer. I betragtning af at lavbundslande spænder vidt mht. omsætningsgrad og hydrauliske forhold, vil det kræve mange observationer under varierende forhold at belyse spørgsmålet grundigt.

Litteratur og undersøgelser til belysning af spørgsmålet

Udvaskning af N og P, målt og beregnet

Der er i litteraturen fundet eksempler på undersøgelser af 1) tab af næringsstoffer ved landbrugsproduktion på lavbundslande og 2) dyrkning af energiafgrøder på lavbundslande - men stort set ingen, der på lavbundsland behandler og sammenligner dyrkningssystemer med omdrift kontra flerårige energiafgrøder. Kun meget få studier har kvantificeret fosfortab. Der er derfor ikke

noget godt grundlag for at vurdere konsekvenserne på baggrund af observationer fra praksis. Undersøgelserne, som er rapporteret i videnskabelige artikler, rapporter mm., fremgår af Tabel 1.

Det er vanskeligt at sammenligne studierne i Tabel 1, som derfor ikke dokumenterer en tydelig tendens til forskel i næringsstofftab mellem en- og flerårige afgrøder.

Partala og Turtola (1998) og Partala og Mela (2000) rapporterede fra et finsk forsøg med rørgræs og slætgræs, etableret på tørvejord. I de fire første år efter etableringen målte de forhøjet udvaskning i etableringsåret og derefter aftagende udvaskning i begge afgrøder, dog med lavere udvaskning fra rørgræs (i alt 50 kg N over 4 år) end slætgræs (i alt 60 kg N over 4 år), når begge var normalgødsket (rørgræs: 64 kg N/ha år, slætgræs: 160 kg N/ha/år). Ved ens gødskning (64 kg N/ha år) var N udvaskningen af samme størrelsesorden for de to dyrkningssystemer. Partala og Turtola (2000) estimerede på basis af måleresultaterne, at over en 10 års periode vil et dyrkningssystem med rørgræs, hvor omdriftperioden er 10 år, repræsentere en kvælstofudvaskning der er 40% lavere end en normalgødsket slætgræs, der omlægges hvert fjerde år. Med hensyn til fosfortab fandt Partala og Mela (2000) mindre forskelle mellem dyrkningssystemer; total fosfor i drænudløbene varierede mellem i alt 1.8 og 2.0 kg/ha over de fire år i eksperimentet. For opløst P var der større forskelle mellem systemerne. Partala og Turtola (2000) estimerede – igen for en driftsperiode på 10 år – at udvaskning af hhv. opløst og total fosfor vil være 18% hhv. 12% lavere fra rørgræs end fra normalgødsket slætgræs.

Kløve (2010) undersøgte kvælstofkomponenterne i drænvand fra en tørve/engjord med vedvarende græs og konstaterede, at en fordeling på 50%/50% mellem organisk N og uorganisk N er typisk for drænvand fra drænedede tørvejorde. I tørvejord, der er drænet med henblik på skovrejsning, er ammoniumindholdet i afstrømningen typisk højt sammenlignet med nitratindholdet. Videre fandt Kløve (2010), at næringsstoffudvaskning fra en dyrket græsmark på tørvejord var højere end udvaskningen fra f.eks. skov etableret på tørvejord. Udvasningen var særligt høj for fosfor.

Kløves (2010) resultater betyder, at det er svært at sammenligne studier der ikke har målt total N i drænvand, men kun NO₃ eller NO₃ og NH₄ (N_{min}). Det høje indhold af organisk N betyder, at tabet af total-N kan være betydeligt større end hvad nitratmålinger antyder.

Udover opgørelserne som er samlet i Tabel 1, er der studier som har undersøgt koncentrationer af næringsstoffer i det øvre grundvand i dyrkede lavbundsområder. Petersen et al. (2011) målte koncentrationer af nitrat og ammonium i det højtstående øvre grundvand i piezometre etableret i 3 forskellige lavbunds (tørve) områder. De undersøgte 2-3 forskellige arealanvendelser for hvert område, hvoraf den ene var vedvarende græs. Petersen og kolleger målte ingen tydelige forskelle i opløst kvælstofindhold mellem marker i omdrift og marker med vedvarende græs.

Table 1. Oversigt over undersøgelser af kvælstof- og fosfortab ved dyrkning af en- og flerårige afgrøder på lavbundsjord. Kvælstofstab opgjort som opløst total-N, medmindre tabellen angiver en anden fraktion af opløst N. P tab opgjort som total-P, medmindre en anden fraktion er angivet.

Studie	Jordtype	Dræning	Afgrøde	Management/ gødskning	N tab kg N/ha/år	P tab kg P/ha/år	Andet
Kløve et al. (2010) (Nordnorge)	Tørv, 64 cm, over siltjord Tørv, 76 cm, over siltjord	Drænrør Grøfter	Eng	Gødskes med gylle	21.7 15.3	2.3 1.1	P=1135 mm/år, Q= 770 mm/år, T=5.4 C/år NO3-N/Ntot=42% NH4-N/Ntot=8%
Pedersen (1985)	Tørv (okkerpotential)	Drænet	sædskifte	50-120 kg N/ha, 30 kg P/ha	~ 126 (Nmin)	~0.2 (PO4-P)	Målinger i drænvand kan være influeret af vand fra oplandet
Pedersen (1985)	Marsk	Drænet	sædskifte	50-200 kg N/ha, P i gylle til majs	~29 (Nmin)	~2.7 (PO4-P)	Målinger i drænvand kan være influeret af vand fra oplandet
Pedersen (1985)	Moræne	Drænet	sædskifte	Konventionelt	~22.5 (Nmin)	0.04 (PO4-P)	Referencetal, uden eksplicit forsøg
Hansen et al. (1990)	3-4 m tørv	Nydrænet	Omdrift	75-100 kg N/ha, 10-30 kg P/ha	68-84	1.3	Skovbjerg. Beregnet udvaskning fra rodzonen
Hansen et al. (1990)	> 3m tørv	Nydrænet	Omdrift	110-285 kg N/ha, 30-70 kg P/ha	43-50	0.5	Volsted. Beregnet udvaskning fra rodzonen
Hansen et al. (1990)	35 cm tørv over sand og grus	Nydrænet	Omdrift	Ingen gødskning	>290	>0.1	Gøderup. Beregnet udvaskning fra rodzonen
Aronsson og Bergström (2001)	Gyttja clay Sand	Ikke drænet	Energipil	120 ell. 240 kg N/ha, vanding = 330 mm ell. 660 mm	0.1 kg NO3- N/ha/år for alle behandlinger	-	Lysimeter undersøgelse. Ud- vaskning som blev observeret i det 3. år efter etablering.
Ledin (1998)	Ler-silt lag (fhv. sø) over ler- gytje.	Ikke drænet	Pil; etableret 8 år tidligere	Gødskning (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg N/ha)	6 – 108 for gødsknings- niveauer 40-200	-	Balancebetragtning: (Tilført N – høstet N – N I jord). Dårlig overvintring, evt. vandmangel.
Hoffmann og Grant (2004)	Tørvejord	Drænet	Vedvarende græs	Ugødet?	1-11	-	Beregnet af målinger i drænvand
Hoffmann og Grant (2004)	'Lavbundsjord'	Drænet	Vedvarende græs	Afgræsset (70 kg N/ha)	24-40	-	
Gundersen et al. (2004) p. 188	'Skovjord'	Ikke drænet	Skov	Ugødet	<5	-	
Partala og Mela (2000); Partala og Turtola (2000)	Tørv	Drænrør	Røgræs (10 års omdrift) Slætgræs (4 års omdrift)	Gødskning: lav (R: 0; S: 64 kg N/ha) og normal (R: 64; S: 160 kg N/ha)	(60%) ~12 (100%)	(88%) ~0.5 (100%)	Relative tal (%) er estimeret middel udvaskning over 10 år.

Fjernelse af næringsstoffer med afgrøde

Tabel 2 giver en oversigt over potentialet for at fjerne kvælstof og fosfor med biomasse, f.eks. eng eller slætgræs, fra en ekstensivt dyrket lavbundsjord. Tallene i tabel 2 kan betragtes som minimumværdier på potentialet for fraførsel af næringsstoffer via høst af biomasse. Ved intensiv dyrkning af f.eks. rørgræs kan højere udbytter og dermed fjernelse af næringsstoffer formentlig opnås (se Appendiks).

Tabel 2. Målte udbytter fra engarealer angivet som årlig N og P fraførsel fra arealerne.

Studie	Jordtype	Afgrøde	Dyrkningsforhold	N fraførsel (kg N/ha/år)	P fraførsel (kg N/ha/år)
Nielsen et al. 2003	Ferske enge, Fussingø	Eng	Afgræsset/slæt	50-100 (Slæt)	7-18 (Slæt)
Landsforsøg 1)	Våd humusjord	Slætgræs	Ikke oplyst	91	
Stevns Å 1)	(Eng)	Enggræs	Ikke oplyst	74-105	8-13
Gjern Å 1)	(Enge)	Enggræs	Ikke oplyst	50-120	9-15

1) Fra Hoffmann et al., 2010.

Udvaskning af nitrat ved dyrkning af flerårige energiafgrøder på højbund

Der findes måleserier af nitratudvaskning fra flerårige energiafgrøder på flere danske lokaliteter på almindelig omdriftsjord – dog kun fra sandjordsarealer. De viser meget samstemmende, at udvaskningen fra fuldt etablerede afgrøder er betydeligt lavere end fra almindelige landbrugssædskifter (ca. 70% reduktion). Resultaterne, der blev opnået i 1990'erne, er gennemgået i Jørgensen (2005). Da der siden er fremkommet pilekloner, som giver 50-70% bedre udbytte end de kloner, der indgik i undersøgelserne i 1990'erne, og da den tilladte N-norm til pil er øget i de senere år, er det dog væsentligt at få opdateret denne viden. Flere måleserier er startet indenfor de sidste par år, men resultaterne herfra er endnu ikke opgjort.

Ved etablering af flerårige energiafgrøder på intensiv landbrugsjord sker en betydelig nitratudvaskning i de første 1-2 år (Mortensen et al., 1998), ligesom det typisk sker ved skovrejsning på landbrugsjord. Det er dog muligt at begrænse udvaskningen ved brug af dækafrøder mellem rækkerne. Efter etableringsperioden er der målt meget lav udvaskning fra rodzonen af pil og elefantgræs, oftest mellem 1 og 15 kg N pr. ha (Jørgensen & Mortensen, 2000). En vurdering af den gennemsnitlige udvaskning fra rodzonen på sandjord over en 20-årig rotation, hvilket forventes at være økonomisk fornuftigt, er på 10-30 kg N pr. ha ved gødsning efter normen med 75 -120 kg N pr. ha. Der findes kun begrænset viden om udvaskning fra flerårige energiafgrøder på lerjord, og det giver ikke grundlag for at angive et andet udvaskningsniveau end på sandjord.

Nitratudvaskningen fra almindeligt græs til slæt kan ved et lavt gødskningsniveau (under 100 kg N pr. ha pr. år) forventes at være på samme niveau som for de øvrige energiafgrøder (10-30 kg N pr. ha).

Effekten på kvælstoftabet fra et areal ved omlægning til flerårige energiafgrøder afhænger af, hvilken driftstype udtagningen erstatter. Til sammenligning med landbrugsdrift viser modelberegninger for et sædskifte med vårbyg, vinterbyg, vinterraps og vinterhvede en gennemsnitlig udvaskning på 44 kg N pr. ha på lerjord og 71 kg N pr. ha på sandjord. Dette gælder som gennemsnit af vådt og tørt klima i Danmark. Etablering af energiafgrøder vil i forhold til et sådant sædskifte gennemsnitligt reducere udvaskningen med 15-35 kg N pr. ha på lerjord og 40-60 kg N pr. ha på sandjord.

Ved gødskning med over ca. 50 kg N/ha årligt til flerårige energiafgrøder kan forventes et overskud på afgrødernes N-balance (tilført ved gødskning og deposition - fraført ved høst af biomasse) (Jørgensen og Mortensen, 1997; Heller et al., 2003). Overskud på N-balancen behøver dog ikke at medføre øget udvaskning, da det i flerårige afgrøder kan bidrage til opbygning af organisk stof i jorden – en proces, der yderligere øger drivhusgasfortrængningen ved dyrkning af bioenergi. Nogle studier indikerer årlig opbygning af kulstof under pil og elefantgræs på 3 tons/ha årligt (Grelle et al., 2007; Dondini et al., 2009). Med typiske C/N-forhold i dyrket jord på 10-20 svarer det til årlig ophobning af 150-300 kg N/ha. Mere konservative danske modelanalyser har indikeret årlig ophobning på ca. 0,5 tons C/ha, hvorved der årligt lagres 25-50 kg N/ha i organisk stof under flerårige energiafgrøder (Olesen et al., 2001).

Fosfortab ved dyrkning af flerårige energiafgrøder på højbund

Effekten på fosfortabet skal dels vurderes i forhold til effekt på transport ved erosion, dels i forhold til transport i opløst form i jordvandet. I Virkemiddeludvalg 1's rapport (Iversen et al., 2007) blev benyttet en reduktion i erosionsbaseret transport ved omlægning i risikoområder for fosforerosion fra omdriftsafgrøder til vedvarende græs på 0,06-0,25 kg P/ha, og denne faktor er også antaget at gælde for flerårige energiafgrøder.

I områder, hvor der er risiko for P-tab pga. lav bindingskapacitet i jorden (herunder lavbundsarealer med ringe bindingskapacitet), vil der, såfremt der undergødes med fosfor, kunne forventes en reduktion i tabet af opløst fosfor på 0,003-0,1 kg P/ha efter en årrække (Schou et al., 2007). Omvendt vil disse arealer være meget følsomme over for yderligere overgødskning med fosfor. Overgødskning vil på sigt øge tabet af P via udvaskning på disse områder, uanset hvilken afgrøde der findes på arealet. Der findes ikke P-normer for energiafgrøder, og der er stor usikkerhed om hvilke udbytter og dermed P-fjernelser, der kan forventes.

Et eksempel på en balance kan være energipil gødsket til N-norm på 120 kg N/ha med svinegylle. Ved et N/P forhold på 5,2 (normtal 2010) svarer det til en P-tilførsel på 23 kg/ha. (For kvæggylle med et N/P-forhold på 6,1 giver det 20 kg P/ha). Der kan forventes høst af 10-12 tons tørstof årligt fra en velpasset energipil, og med et typisk indhold på 0,8 g P/kg tørstof bliver den årlige fjernelse på 8-10 kg P/ha. Der er dog i både svenske og danske forsøg med piledyrkning i spildevandsanlæg og efter slamtilførsel fundet fjernelser på 24-27 kg P/ha, hvilket antyder, at ved høje tilgængelige P-

indhold i jorden kan en øget optagelse finde sted. Det vurderes dog, at fuldgødsning med svinegylle i de fleste tilfælde vil medføre et fosforoverskud på 10-15 kg/ha årligt. En fornuftig gødskningsstrategi i pil vil være gødsning med husdyrgødning i høståret og gødsning med en ren N-gødning i år 2, hvor handelsgødning kan udsprede med høj gødningsspreder. Dermed kan P-overskud stort set undgås, men i praksis vil gødningsstrategien formentlig afhænge af den enkelte landmands forhold mellem produceret husdyrgødning og jordareal (harmoniforhold).



Figur 3. Termestrup Enge (tv.) og Kolindsund (th.) er lavbundsområder på Djursland.

Overslagsberegninger og scenarier for effekter af omlægning til energiafgrødedyrkning

I det følgende giver vi nogle eksempler på mulige effekter af omlægning til dyrkning af flerårige energiafgrøder på forskellig skala. Effekterne er primært baseret på den viden, vi har beskrevet tidligere i rapporten.

- *Reduktion i nitratudvaskningen ved omlægning af kornarealer til flerårige energiafgrøder i kommunerne i EnerCoast-projektet.*

På baggrund af de tidligere angivne værdier for udvaskningsreduktion per ha kan der beregnes en samlet reduktion ved større omlægnings af almindelige landbrugssædskifter til flerårige energiafgrøder. Vi har beregnet for en omlægning af 15% af kornarealet, svarende til tidligere beregninger (Fødevarerministeriet, 2008), idet 10-20% af Danmarks kornproduktion oftest eksporteres (www.statistikbanken.dk). Ved at benytte de gennemsnitlige værdier for effekten af at omlægge kornrige sædskifter på højbundsjord til flerårige energiafgrøder (25 kg N/ha på ler og 50 kg N/ha på sand) er beregnet en omtrentlig effekt for hver enkelt kommune på Djursland (tabel 3). I alt beregnes en reduktion i N-udvaskningen på 144-229 tons N pr. kommune, hvilket totalt for kommunerne giver en reduktion på 570 tons N.

Det skal bemærkes, at det er reduktionen ud af rodzonen, der er beregnet: Effekten i vandmiljøet vil afhænge af de lokale retentionsforhold. For at opnå maksimal effekt i vandmiljøet kan man vælge at omlægge kornproduktionen på de arealer, der har en lav retentionsfaktor, dvs. de arealer der er tæt koblet til vandmiljøet. Det vil oftest sige drænedede arealer.

Det skal bemærkes, at de flerårige energiafgrøder er tilknyttet en N-norm, og således indgår i gødningsregnskabet og fungerer som harmoniarealer for husdyrbrug. De forventede reduktioner i nitratudvaskningen gælder for gødgede energiafgrøder.

Tabel 3. Beregnet reduktion i nitratudvaskning fra rodzonen i EnerCoast-kommunerne ved omlægning af 15% af kornarealet til flerårige energiafgrøder. Data for kornareal er leveret af Conterra.

Kommune	Jordtype	Totalt kornareal (ha)	Reduktion ved omlægning af 15% af kornareal (ton N)	Total reduktion pr kommune (ton N)
Norrdjurs	Ler	3.830	14,4	196,9
	Sand	24.339	182,5	
Randers	Ler	6.123	23,0	228,6
	Sand	27.422	205,7	
Syddjurs	Ler	5.909	22,2	144,0
	Sand	16.246	121,8	

- *Effekt på nitratudvaskningen på landsplan af omlægning af kornarealer til flerårige energiafgrøder, herunder effekt af tiltag i Grøn Vækst*

I 2008 beregnedes det, at en samlet reduktion af nitratudvaskningen fra rodzonen ved omlægning af 15% af kornarealet i Danmark til flerårige energiafgrøder vil være på 11.000 t N årligt (Fødevarerministeriet, 2008a). Det skal ses i relation til en samlet rodzoneudvaskning fra dansk landbrug på ca. 160.000 t N årligt (Børgesen et al., 2009). Reduktionsmålet i VMP3 var i 2015 at reducere nitratudvaskningen med 21.150 t N i forhold til niveauet i 2003 (Regeringen, 2004). Ved midtvejsevalueringen af VMP3 i 2008 vurderedes det, at en reduktion på ca. 5.000 t N vil blive opnået (Børgesen et al., 2009).

I 'Grøn Vækst pakken' (2010) er der afsat tilskud til etablering af flerårige energiafgrøder (dog kun træagtige afgrøder), som, hvis de udnyttes fuldt ud, kan give anledning til etablering af knapt 30.000 ha. Ordningen kræver (se nærmere på www.fvm.dk), at de omlagte arealer er omfattet af enkeltbetalingsordningen. Det kræves dog ikke, at der omlægges enårige afgrøder, som giver den store miljøeffekt. En analyse af de arealer, som tilplantedes med pil i 2009 viste, at der året før på ca. halvdelen havde været enårige afgrøder, mens der på resten havde været græs i en eller anden form (Inge T. Kristensen, personlig meddelelse).

Dertil kommer, at det fra efteråret 2010 er blevet muligt at erstatte lovpligtige efterafgrøder med flerårige energiafgrøder. Den erstatning kræver, at der omlægges afgrøder, der indgår i efterafgrødegrundlaget, dvs. enårige afgrøder. Vi vurderer, at en stor del af de energiafgrødearealer, der vil blive anlagt med tilskud fremover vil erstatte efterafgrøder. Dermed vil etableringen bidrage til at sikre opfyldelsen af efterafgrødemålsætningen, men ikke i sig selv give en miljøeffekt. Samlet set vurderer vi derfor, at tilskudsordningen for flerårige energiafgrøder vil have meget lille selvstændig effekt på næringsstoffetab til vandmiljøet.

Den potentielle effekt af at anlægge 30.000 ha flerårige energiafgrøder, der ikke erstatter græsarealer og efterafgrøder kan, hvis det antages, at hovedparten (25.000 ha) anlægges på sandede højbundslande, beregnes at være en reduktion i nitratudvaskningen på ca. 1.375 tons N årligt. I det omfang arealerne anlægges på lavbundsland, hvor der er betydelig usikkerhed om størrelsen af reduktionen i nitratudvaskning, vil det påvirke størrelsen af reduktionen i nitratudvaskning.

- *Estimat for biomasseudbytte og N og P fjernelse ved dyrkning af røgræs og pil.*

I Syddjurs Kommune overvejes etablering af et stort vådområdeprojekt i Termestrup Enge til fjernelse af næringsstoffer fra Skørring Å, der afvander til Randers Fjord (se <http://termestrupenge.odeum.com>). Området er i dag overvejende i omdrift, men der er tiltagende problemer med oversvømmelser. På disse omdriftsarealer vurderes det at være naturmæssigt acceptabelt at fortsætte en dyrkning af energiafgrøder efter vådlægningen, hvis det viser sig teknisk muligt at etablere og høste arealerne (Morten Hundahl, Syddjurs Kommune, personlig meddelelse).

I tabel 4 er beregnet et eksempel på, hvilken energiproduktion og hvilke næringsstoffjernelser der vil kunne forventes ved etablering af henholdsvis røgræs og pil på arealerne. Røgræs kan høstes grøn i løbet af sommer og/eller efterår med ét til flere slæt og udnyttes til biogas. Pil høstes normalt om vinteren med 2-3 års mellemrum og kan udnyttes i flisfyrede varme- eller

kraftvarmeværker. Landskabsmæssigt er der stor forskel på afgrøderne, idet rørgræs maksimalt bliver 1,5 m høj, mens pil kan blive 5-7 m høje.

Forudsætningerne for beregningen er angivet i tabel 5. De antagne udbytter er relativt høje, hvilket kan forventes, når der er god vandforsyning af afgrøderne igennem vækstsæsonen.

Næringsstofindhold er angivet på basis af bl.a. Mortensen et al. (1998) og Jakubowski et al. (2010). Hvorvidt udbytter og næringsstofoptag i den skitserede størrelsesorden (Tabel 4) kan opnås alene ved den næringsstofftilførsel, som sker ved vådlægningen, er et åbent spørgsmål og kan afhænge af den præcise lokalisering af de forskellige marker i forhold til gennemstrømningen med næringsrigt vand.

De beregnede næringsstoffjernelser og energiproduktion er betydelige og kan sammenlignes med projektets forventede kvælstoffjernelse fra vandmiljøet uden dyrkning af energiafgrøder på 51 t N årligt, og at energiudbyttet svarer til ca. 15% af den forventede energiproduktion fra et biogasanlæg ved Andi (www.djursbioenergi.dk). Til dette biogasanlæg er der planer om at supplere husdyrgødning med biomasse fra energiafgrøder, og det vil således være en mulighed at supplere med rørgræs dyrket i Termestrup Enge.

Tabel 4. Overslag over potentiel bioenergiproduktion og næringsstoffjernelse ved høst efter etablering af rørgræs eller pil på lavbundsarealer, der oversvømmes for fjernelse af næringsstoffer.

	Energiudbytte (GJ)	N-fjernelse (kg)	P-fjernelse (kg)
	Effekt per ha		
Rørgræs	130	150	30
Pil	192	60	12
	Effekt for 250 ha (forventet areal m. omdriftsjord, Termestrup Enge)		
Rørgræs	32.500	37.500	7.500
Pil	48.000	15.000	3.000

Tabel 5. Forudsætninger for beregningerne i tabel 4.

	Udbytte (t tørstof/ha)	N (% af TS)	P (% af TS)	Energiudbytte pr. ton tørstof (GJ)
Rørgræs, 1-2 slæt	10	1,5	0,3	13
Pil	12	0,5	0,1	16
Energiindhold pil: Nedre brændværdi ved 50% vand.				
Rørgræs: 350 m ³ metan per ton TS; 0,036 GJ/m ³ metan.				

Perspektivering

Dyrkning af biomasse til energi kan formentlig give landmanden en omtrent ligeså god driftsøkonomi som dyrkning af korn (Jacobsen & Dubgaard, 2010; Larsen & Maegaard, 2010). Der er dog knyttet en betydelig usikkerhed til dyrkning af nye afgrøder og til anlæg af afgrøder med en 10-30-årig dyrkningshorisont, hvorunder marked og dyrkningsforhold kan ændre sig. Der er derfor ikke grund til at antage, at landbruget vil omlægge større arealer til energiafgrøder, hvis ikke omlægningen kan sikre andre fordele. Det kan fx være en klimaeffekt ud over den, der opnås ved at fortrænge fossil energi, nemlig ved reduktion af emissionen af lattergas under dyrkningen og/eller ved lagring af kulstof i jorden under dyrkningen (Fødevarerministeriet, 2008b). Eller det kan være reduktion i tabet af næringsstoffer (Fødevarerministeriet, 2008a).

Både emission af drivhusgasser og næringsstoffer er højt prioriterede områder, hvor landbruget spiller en stor rolle – i problemet og i løsningen. Der er dog ikke nødvendigvis politikker og instrumenter klar, som gør det attraktivt eller nødvendigt for den enkelte landmand at bidrage til reduktion af emissionerne. Det vil der givetvis komme på længere sigt, og der er ingen tvivl om, at for at landbrugssektoren skal bevare sin produktionsret, skal den også bidrage til at reducere de tilknyttede emissioner.

Omkring emissionen af næringsstoffer til vandmiljøet er der politik (Vandrammedirektivet), som har udstukket retningslinjer, og instrumenter til at opnå målene er under udvikling (Vandplaner). Miljøministeriet har opstillet et katalog over virkemidler, som kan benyttes af kommunerne til sammensætning af de lokale vandplaner (By- og Landskabsstyrelsen, 2010). Det indeholder dog ikke direkte flerårige energiafgrøder som et muligt virkemiddel, men da efterafgrøder er et centralt virkemiddel kan energiafgrøder komme i spil, idet de nu kan erstatte efterafgrøder. Desuden er der et endnu uafklaret spørgsmål om ”omsættelige kvælstofkvoter”, som skal stå for en meget stor andel af indsatsen. Her kunne man vælge at lade dyrkning af flerårige energiafgrøder stå for en del af reduktionsmålet. Energiafgrøder giver en stor effekt, er et virkemiddel der er nemt at kontrollere, og endelig kan de give landmanden en lønsom produktion, der også sikrer fortsat opretholdelse af harmoniareal. Dertil kommer, at energiafgrøderne også vil bidrage til den opfyldelse af EUs klimamålsætning, som Danmark også skal gennemføre tiltag til at sikre (Fødevarerministeriet, 2008b).

Et andet centralt virkemiddel i vandplanerne er anlæg af vådområder til fjernelse af kvælstof ved denitrifikation og til fastlæggelse af fosfor. Her kan det være meget interessant at finde ud af, om en kombination med dyrkning af energiafgrøder kan optimere vådområdernes effekt og bidrage til en øget biomasseproduktion. Denitrifikation af kvælstof er en effektiv bortskaffelsesmetode, men er en dårlig ressourceudnyttelse. Fremstilling af et kg gødningskvælstof har en energiomkostning på ca. en liter olie. Det vil derfor være bedre, hvis energiafgrøder kan udnytte en del af kvælstoffet før det denitrificeres. Hvis afgrøderne omsættes i et biogasanlæg (det er relevant for urteagtige afgrøder, som fx rørgræs), bevares kvælstoffet og kan efterfølgende udbringes som gødning i landbruget. Specielt økologiske landbrug er meget interesseret i denne løsning, da de skal finde alternative gødningskilder til den import af konventionel husdyrgødning, som er under udfasning (Tersbøl & Jørgensen, 2009).

Fastlægning af fosfor fra de vandløb og dræn, der oversvømmer vådområderne vil medføre en stigende risiko over tid for tab fra den øgede pulje i jorden. Fosfor kan ikke omsættes til gasform, og fjernelse kræver derfor bortgravning af jorden, eller at afgrøder optager næringsstoffet og

fjernes ved høst. Derfor vil dyrkning af energiafgrøder på vådområder være en interessant strategi, som bør undersøges nærmere. Ikke mindst fordi fosfor er en yderst begrænset ressource, som det er vigtigt at genanvende til jordbrugsproduktion i stedet for at bortskaffe eller deponere.

Der er dog mange uafklarede spørgsmål knyttet til disse perspektivrige muligheder. Det er fx vanskeligt at høste energiafgrøderne på fugtige arealer; der kan være konflikter i forhold til naturplaner; pil bliver høje og vil således påvirke landskabet; og der er meget teknisk udvikling i produktionskæden fra dyrkning over høst, lager og energianvendelse, som kræver yderligere udvikling, før produktionen af energiafgrøder kan blive fuldt konkurrencedygtig og stabil. Mindst ligeså vigtigt er det dog at finde ud af, hvordan de samfundsmæssige gevinster i form af reducerede tab af næringsstoffer og drivhusgasser værdisættes, således at det bliver attraktivt for den enkelte landmand at dyrke flerårige energiafgrøder.

Der er gode muligheder på Djursland og i oplandet til Randers Fjord for at få afprøvet nogle af mulighederne i praksis og dermed bidrage til at sætte en udvikling i gang, som bidrager til at løse klima- og miljøproblemerne, samtidigt med at en fortsat landbrugsproduktion kan opretholdes.

Erkendtlighed

Vi takker Pirkko Johanna Mustamo og Maarit Hyvärinen, PhD. Studerende ved Water Resources and Environmental Engineering Laboratory, Oulu Universitet, Finland, for at have forfattet resuméer på engelsk af de finsksprogede rapporter der indgår i referencelisten.

Referencer

- Aronsson, PG. Og LF. Bergström, 2001. Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass and Bioenergy*, 21:155-164.
- Berglund, Ö. og K. Berglund, 2010. Distribution and cultivation intensity of agricultural peat and gyttja soils in Sweden and estimation of greenhouse gas emissions from cultivated peat soils. *Geoderma*, 154:173-180.
- By- og Landskabsstyrelsen, 2010. Virkemiddelkatalog til brug for vandplanindsatsprogrammer for: Overfladevand, grundvand, sø- og vandløbsrestaurering, spildevand, regnvand og dambrug. www.naturstyrelsen.dk
- Børgesen, CD, Waagepetersen, J, Iversen, TM, Grant, R, Jacobsen, B & Elmholt, S (red.), 2009. Midtvejsevaluering af vandmiljøplan III: Hoved- og baggrundsnotater. DJF Rapport Markbrug 142.
- Dohleman, F.G. & Long, S.P. 2009. More Productive Than Maize in the Midwest: How Does Miscanthus Do It? *Plant Physiology*, 150, 2104-2115.
- Dondini, M., Hastings, A., Saiz, G., Jones, M.B., Smith, P., 2009. The potential of Miscanthus to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *GCB Bioenergy* 1, 413-425.

- Fødevareministeriet, 2008a. Jorden en knap ressource. Fødevareministeriets rapport om samspillet mellem fødevarer, foder og bioenergi. www.fvm.dk.
- Fødevareministeriet, 2008b. Landbrug og Klima. Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser. www.fvm.dk
- Grelle, A., Aronsson, P., Weslien, P., Klemetsson, L., Lindroth, A., 2007. Large carbon-sink potential by Kyoto forests Sweden – a case study on willow plantation. *Tellus* 59B, 910-918.
- Gundersen, P, K. Hansen, S. Anthon og LB. Pedersen, 2004. Skovrejsning på tidligere landbrugsjord. I: U. Jørgensen (red.) Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III. DJF rapport Markbrug no. 103, Danmarks Jordbrugsforskning, Tjele. S. 188-196.
- Hansen, B., AC. Hansen, CC Hoffmann og H. Nielsen, 1990. Vand- og stofbalance på lavbundsjord. NPO forskning fra Miljøstyrelsen no. C14. 74 s.
- Heller, M. C., Keoleian, G. A. & Volk, T. A., 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy* 25, 147–165.
- Hoffmann, CC og R. Grant, 2004. Ophør af omdrift på lavbundsarealer. I: U. Jørgensen (red.) Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III. DJF rapport Markbrug no. 103, Danmarks Jordbrugsforskning, Tjele. S. 180-187.
- Hoffmann, CC., A Baatrup-Pedersen, C. Kjærgaard og B. Hasler, 2010. Vådområder. I: Kronvang et al. (red.) Kortlægning af risikoarealer for fosfortab I Danmark. B6. Arealændringer i risikoområder. Årg. 1, 2010. Tilgængelig via <http://www.np-risikokort.dk/virkemidler/virkemidler.html> (verificeret 7/1-2011).
- Iversen, T.M., Schou, J.S., Jensen, P.N., Waagepetersen, J. & Jørgensen, U., 2007. Udredning for Udvalget vedr. ”Langsigtet indsats for bedre vandmiljø”: Scenarieregninger. Notat udarbejdet af DMU og DJF til Virkemiddeludvalg I.
- Jacobsen, B.H. & Dubgaard, A., 2010. Incitament til øget piledyrkning i Danmark. FOI Udredning 15. Oktober 2010 (www.foi.dk).
- Jakubowski, A.R., Casler, M.D. & Jackson, R.D., 2010. The Benefits of Harvesting Wetland Invaders for Cellulosic Biofuel: An Ecosystem Services Perspective. *Restoration Ecology*, 18, 789-795.
- Jørgensen, U., 2005. How to reduce nitrate leaching by production of perennial energy crops? I: Zhu, Z., Minami, K. & Xing, G. (eds.). 3rd Nitrogen Conference, Nanjing, China, pp. 513-518.
- Jørgensen, U. & Mortensen, J., 1997: Perennial crops for fibre and energy use as a tool for fulfilling the Danish strategies on improving surface and groundwater quality. In: Olesen, S.E. (ed). Proceedings of the NJF-seminar: Alternative Use of Agricultural Land. – SP-report 18, 12-21.
- Jørgensen, U. & Mortensen, J., 2000: Kombination af energiafgrødeproduktion og grundvandsbeskyttelse. I: Jørgensen, U. (red.). Har energiafgrøder en fremtid i Danmark? – DJF Rapport. Markbrug nr. 29, 97-104.
- Kjærgaard, C., 2007. Fosforstatus, binding og tabsrisiko fra danske organogene lavbundslande. I: Udpegning af risikoområder for fosfortab til overfladevand. DFFE-projekt under VMPIII 2004-2006.
- Kløve, B., TE. Sveistrup og A. Hauge, 2010. Leaching of nutrients and emission of greenhouse gases from peatland cultivation at Bodin, Northern Norway. *Geoderma* 154:219-232.
- Larsen, S.U. & Maegaard, E., 2010. Følsomhedsanalyser for driftsøkonomi ved dyrkning af energipil. Rapport fra Videnscentret for Landbrug og AgroTech.

- Ledin, S., 1998. Environmental consequences when growing short rotation forests in Sweden. *Biomass Bioenergy*, 15:49-55.
- Maljanen, M., BD Sigurdsson, J. Gudmundsson, H Oskarsson, JT. Huttunen og PJ. Martikainen, 2010. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7:2711-2738.
- Mortensen, J.V., Nielsen, K.H. & Jørgensen, U., 1998: Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilisation levels. – *Biomass & Bioenergy* 15, 457-466.
- Nielsen, L., AB. Hald og JH. Badsberg, 2003. Vegetation og planteproduktion på humusjord – effekt af øget jordfugtighed. I: AB Hald, CC Hoffmann og L Nielsen (red.) *Ekstensiv afgrøsnings af ferske enge. DJF rapport Markbrug nr. 91, 2003, s. 131-156.*
- Olesen, J.E., Andersen, J.M., Jacobsen, B.H., Hvelplund, T., Jørgensen, U., Schou, J.S., Graversen, J., Dalgaard, T., Fenhann, J., 2001. Kvantificering af tre tiltag til reduktion af landbrugets udledning af drivhusgasser. *DJF-rapport Markbrug 48.*
- Partala, A. og E. Turtola, 1998. Nutrient leaching from a peat soil under reed canary grass and timothy ley. *Nordisk Jordbruksforskning* 80, 2:52. *NJF Seminar 270, Foulum, 1997.*
- Partala, A. og T. Mela, 2000. Ruokohelven ravinnetalous tutkimukset. I: Salo R (red.) *Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi : tutkimuksen loppuraportti. Osa 1, Ruokohelven jalostus ja viljely. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. (Næringsstofundersøgelser i røgræs. I: Biomasseproduktion af fiber og energiråvarer. Endelig rapport fra undersøgelsen. Del 1: Røgræs, avl og dyrkning. Jokioinen, Landbrugets Forskningscenter, Finland).*
- Partala, A. og E. Turtola, 2000. Biomassanurmi estää tehokkaasti typen huuhtoutumista. *Koetointa ja käytäntö 6/2000, p.6. (Energigræs nedsætter effektivt kvælstofudvaskning. Tidsskrift for eksperimenter og praksis i jordbruget, Finland, 6/2000 s. 6.)*
- Pedersen, E.F., 1985. Drænvandsundersøgelser på marsk- og dyb tørvejord 1971-84. *Tidsskrift Planteavl* 89: 319-329.
- Persson, G., 1989. Energy forest water balance on a raised bog. *Scand. J. For. Res.*, 4:29-39.
- Persson, G. og A. Lindroth, 1994. Simulating evapotranspiration from short-rotation forest: variations within and between seasons. *J. Hydrology*, 156:21-45.
- Petersen, SO., CC. Hoffmann, C. Schäfer, G. Blicher-Mathiesen, K. Kristensen, L. Elsgaard, SE. Larsen, SB. Torp og MH. Greve, 2011. Seasonal dynamics and annual fluxes of CH₄ and N₂O from eight organic soils as influenced by management, soil conditions and climate. Artikel under udarbejdelse.
- Regeringen, 2004. *Vandmiljøplan III, 2004. Miljøministeriet & Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (www.vmp3.dk).*
- Schou, J.S., Kronvang, B., Birr-Pedersen, K., Jensen, P.L., Rubæk, G.H., Jørgensen, U., Jacobsen, B.H., 2007. Faglig rapport fra DMU nr 625. Virkemidler til realisering af målene i EU's Vandramme-direktiv.
- Skøtt, T., 2008. Kulstof er lige så vigtig som energi. *Forskning i Bioenergi*, 26, 6-7.
- Tersbøll, M. & Jørgensen, P.J., 2009. Øko-biogas - Udvikling af integreret økologisk produktion af gødning, fødevarer og vedvarende energi. www.okologi.dk

Appendiks: Forslag til projekter om muligheder for samtidig biomasseproduktion og reduktion af næringsstoffab til vandmiljøet på Djursland og i oplandet til Randers Fjord

Nedenstående er kort skitseret tre mulige projekter, der kan skaffe mere konkret viden om de problemstillinger, der er behandlet i rapporten, og som kan give en mere lokalitetsspecifik viden i de tre projektkommuner.

1: Effekter af pileproduktion i Kolindsund på tab af næringsstoffer

Litteraturudredningen i denne rapport har afsløret, at der er meget begrænset viden om effekten på næringsstoffab i forskellige dyrkningssystemer på lavbundsjord i almindelighed og af omlægning til flerårige energiafgrøder i særdeleshed. I Kolindsund er etableret i alt ca. 40 ha (heraf 10 ha på sandjord) med pil, som har været i produktion i en årrække. Hvis det er muligt at sammenligne næringsstoffab fra disse arealer med nærliggende arealer med omdrift, vil det give værdifuld viden om effekter på gytjedomineret jord.

Metode

Koncentrationer af nitrat og ammonium (evt. også total-N) måles afhængigt af de lokale forhold enten i drænvand, vand udsuget fra sugeceller eller fra piezometerrør i pilemarkerne og i referencemarken. Total udvaskning af kvælstof beregnes ved at koble de målte N-koncentrationer med en vandbalance beregnet med modellen COUP. Der måles tørstofproduktion i pilene for at få et udtryk for den opnåede energiproduktion og tørstoffets indhold af N og P analyseres.

På baggrund af input (gødskning og atmosfærisk deposition) og fraførsel (høst og nitratudvaskning) opstilles en næringsstoffbalance for kulturen, der også giver et bud på hvor meget kulstof der lagres (evt. afbrændes) i organisk stof i jorden.

Hvis ressourcerne tillader det vil det også være interessant at måle drivhusgasbalancen for arealet. Mest ideelt vil det være at måle med Eddy-covarians-metodik, hvor man ud fra koncentrationer af drivhusgasser målt over marken og ved hjælp af mikrometeorologiske beregninger kan estimere de samlede emissioner og optag (primært af CO₂) over et helt år. Det vil dels kunne sige noget om omfanget af denitrifikation af kvælstof i jorden, dels kan det bidrage til at fastlægge kulturens nettodrivhusgasbalance, som hidtil er meget usikkert bestemt. (Grelle *et al.* 2007) estimerede for svenske pilearealer (vandet med spildevand) en årlig oplagring af ca. 3 t C per ha, hvilket er langt større en de værdier, der foreløbigt indgår i danske vurderinger af energipils betydning for klimaet (Fødevareministeriet, 2008b); og der er behov for yderligere målinger.

2: Pilotforsøg med dyrkning og anvendelse af energiafgrøder i Termestrup Enge

Som beskrevet tidligere i rapporten kan der formentlig opnås gode udbytter og betydelig fjernelse af næringsstoffer ved dyrkning af energiafgrøder på næringsrige, oversvømmede arealer ved et

kommende vådområdeprojekt ved Termestrup Enge (tabel 4). Der er dog behov for at teste muligheden i pilot-skala inden fuldskala produktion og anvendelse evt. sættes i værk. Det er dels vigtigt at undersøge, hvor stor næringsstofforsyning afgrøderne kan opnå fra det oversvømmende vand, idet det ikke vil være muligt at gøde. Dels skal det verificeres, om de skitserede udbyttene er realistiske, hvilket har betydning for både næringsstoffjernelse og driftsøkonomi. Endelig er der en række praktiske og tekniske udfordringer omkring dyrkning og specielt høst af afgrøder på fugtig jord samt af den efterfølgende energianvendelse. Hvis der dyrkes pil, er det forholdsvis veletableret teknik at afbrænde pileflisen parallelt med anden træflis. Hvis der dyrkes rørgræs til anvendelse i biogasanlæg, kan det kræve en del tilpasning af indfødning og reaktorstyring for at udnytte biomassen optimalt.

Metode

Ved etablering af vådområdet etableres samtidig parceller med rørgræs og pil, som er afgrøder der kan tåle periodevis oversvømmelse. Parcellerne placeres strategisk forskellige steder i området for at belyse betydningen af variationen i næringsstofforsyning og oversvømmelse. Parcellerne etableres med en størrelse, der gør høst med gængs høstudstyr mulig, dog efter at det er blevet vurderet, om det overhovedet er realistisk at køre med tunge maskiner på området. Formentlig vil der være tider på året, hvor det er tilstrækkeligt tørt.

Fra år 2 høstes parcellerne. Der bestemmes tørstofudbytte og indhold af N, P og evt. K i biomassen. Herudfra beregnes en samlet energiproduktion og næringsstoffjernelse per ha. Værdierne sammenlignes med vurderinger af tilførslen af næringsstoffer med det oversvømmende vand, og det vurderes, om det vil være realistisk at forvente en langsigtet forsyning med næringsstoffer til afgrøderne. Det vurderes evt., om der er tilstrækkeligt kalium til rådighed for afgrøderne. Afgrøderne høstes over flere år for at vurdere afgrødernes levedygtighed under de fugtige forhold og den langsigtede næringsstofforsyning. Der gennemføres desuden forsøg med forskelligt høstudstyr og høst på forskellige tidspunkter samt evt. forsøg med lagring og energiudnyttelse.

3: Dyrkning af elefantgræs på højbund på Djursland eller i oplandet til Randers Fjord

I dag er pil den mest plantede flerårige energiafgrøde i Danmark. Sammen med poppel og evt. el og ask er det energiafgrøder, der nemt kan udnyttes i det danske energisystem sammen med anden træflis. Hvis energiudbyttet per ha skal maksimeres, er der dog potentielt større udbytter at hente fra elefantgræs. Det gælder specielt, når klimaforandringerne slår igennem, da elefantgræs benytter den såkaldte C₄-fotosyntese, som også majs benytter, og som er ca. 30% mere effektiv til at udnytte solens stråler end andre typiske afgrøder – når det er varmt nok. Elefantgræssets fotosyntese er dog betydeligt mere kuldetolerant end majsens (Dohleman & Long 2009), og det kan således udnytte en længere vækstsæson. Vi vurderer, at elefantgræs kan producere dobbelt så meget biomasse som dagens hvedeproduktion i halm + kerne kan (Skøtt, 2008).

For at udnytte elefantgræssets udbyttepotentiale maksimalt skal det dog høstes om efteråret eller tidlig vinter, således at hele bladmassen udnyttes. Det er i modsætning til den hidtidige fokus på anvendelse af tørt elefantgræs høstet i foråret, hvor udbyttet næsten halveres i forhold til udbyttet om efteråret. Elefantgræs høstet om efteråret har et højt vandindhold (60-70%) og egner sig derfor

til biologisk omsætning i et bioraffinaderi eller evt. i et biogasanlæg. Græsset har dog allerede om efteråret et temmelig højt indhold af svært omsætteligt lignin, så udnyttelse i et biogasanlæg vil formentlig kræve en vis forbehandling.

En stor flaskehals for dyrkning af elefantgræs har været at sikre en billig og sikker etablering. I et samarbejde mellem Nordic Biomass (www.nordicbiomass.dk) og DJF blev udviklet en fuldt mekaniseret etableringsmetode baseret på rhizomformering, og den har reduceret omkostningerne med ca. 80% i forhold til etablering af småplanter. Metoden er blevet videreudviklet af det engelske firma International Energy Crops (www.energycrops.com). Endelig udvikler det danske firma Vitroform metoder til omkostningseffektiv fremstilling og udplantning af mikroformerede elefantgræsplanter.

Metode

Der anlægges arealer med elefantgræs, hvor forskellige etableringsmetoder afprøves i samme mark. Der vælges marker, som ikke er udsatte for sen nattefrost. Der sikres en effektiv ukrudtsbekæmpelse i år 1 og 2, hvor afgrøden ikke er konkurrencestærk. Herefter kan høst påbegyndes, og der prøvehøstes udbytter. Ved efterårshøst afprøves forskellige høsttidspunkter for at finde den optimale balance mellem udbytte, kvalitet og næste års genvækst.

Det skal afklares, om elefantgræsset skal afprøves i et bioraffinaderi, biogasanlæg eller evt. høstes tørt til direkte afbrænding. De første to muligheder er nye og vil kræve en del udvikling og afprøvning, men er også de mest interessante løsninger på sigt. Hvis der skal ske afprøvning af energianvendelsen af elefantgræs, inden de nye arealer er vokset til, findes der etablerede arealer på Samsø, der p.t. ikke anvendes.

Læs om forskningen, uddannelserne og andre aktiviteter på Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet på www.agrsci.au.dk, hvorfra du også kan downloade fakultetets publikationer og abonnere på det ugentlige nyhedsbrev